



## Uji Coba Atap Hijau untuk Pengelolaan Airstrom dan Pengurangan Efek Panas Perkotaan di Singapura

Fatimah Arbiatun<sup>1\*</sup>, Annisa Ayuningtyas W.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sorong

\*Email: [farbiatun@gmail.com](mailto:farbiatun@gmail.com)

### *Abstract*

Penelitian ini mengevaluasi manfaat *green roof* dalam manajemen air hujan dan mitigasi urban heat island effect di Singapura. Sistem *green roof test bed* yang diuji terdiri dari 3 unit, di mana 2 unit berupa atap vegetasi dan 1 unit atap tanpa vegetasi sebagai kontrol. Hasil menunjukkan *green roof* dapat secara signifikan menurunkan suhu permukaan atap hingga 7,3°C dan suhu udara sekitar hingga 0,5°C dibandingkan atap tanpa vegetasi pada siang hari. Untuk curah hujan 18 mm, *green roof* dapat mengurangi puncak limpasan dan menunda puncak limpasan.

**Keywords:** *Teknologi, Atap\_Hijau, Atap\_Vegetasi, Heat\_Island\_effect*

### 1. Pendahuluan

Singapura, sebagai kota-negara dengan laju urbanisasi tinggi, menghadapi tantangan terkait penurunan area hijau, peningkatan limpasan air hujan, dan *urban heat island effect*. *Green roof* dianggap sebagai salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi isu-isu tersebut. Namun, studi terkait *green roof* di Singapura masih terbatas, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menguji manfaat *green roof* dalam manajemen air hujan dan mitigasi urban heat island [1].

Atap hijau, sebagai 'karpet' tanaman di atas bangunan, menawarkan banyak manfaat selain meningkatkan nilai estetikanya. Manfaat utamanya adalah potensi isolasi termalnya. Atap hijau dapat sangat meningkatkan resistensi panas terhadap aliran panas melalui atap, yang secara signifikan mengurangi konsumsi energi untuk pendinginan bangunan. Ini juga dapat mengurangi efek pulau panas perkotaan (UHI) karena penyerapan panas, peneduhan, dan evapotranspirasi [2-6]. Manfaat utama lainnya adalah kemampuannya untuk menunda puncak aliran hujan, sehingga mengurangi laju aliran puncak dan mengurangi risiko banjir [7-8]. Secara ringkas, untuk kota tropis seperti Singapura, ini berpotensi mengurangi efek buruk perubahan iklim dengan mengurangi kebutuhan pendinginan dan menggeser puncak aliran, sehingga menawarkan kualitas lingkungan yang lebih baik.

Ada banyak studi terkait manfaat termal dari sistem atap hijau [9-12]. Lebih khusus lagi, Weng dkk.[13] menganalisis hubungan antara suhu permukaan tanah dan vegetasi untuk studi UHI. Liu dan Minor [14] mengevaluasi kinerja termal dan efisiensi energi dari dua sistem atap hijau yang luas yang dipasang di pusat komunitas di Toronto. Hasil mereka menunjukkan bahwa suhu maksimum harian dari material atap bisa turun hingga 30-40oC dengan memasang sistem atap hijau. Takebayashi dkk.[15] menyelidiki suhu permukaan, radiasi bersih, kandungan air, dll. atap hijau dan atap refleksi tinggi untuk mengungkap kinerja atap hijau dalam mitigasi UHI. Fang [16] menyelidiki efek pengurangan termal lapisan tanaman atap hijau dan mengungkapkan bahwa rasio penutupan dan ketebalan daun total berhubungan dengan kapasitas pengurangan termal.

Studi eksperimental tentang aspek hidrologis atap hijau juga banyak dilaporkan[17]. VanWoert dkk[18] menyelidiki efek jenis vegetasi, substrat, dan lereng pada retensi air hujan atap hijau. Carter dan Rasmussen [19] mengembangkan sistem uji atap hijau dan atap hitam di Universitas Georgia; studi mereka menunjukkan bahwa retensi presipitasi atap hijau sekitar 90% untuk badai kecil dan 50% untuk



badai lebih besar. Teemusk dan Mander [20] menyelidiki kapasitas retensi air hujan dan kualitas air aliran atap hijau di Estonia. Studi tersebut menunjukkan bahwa 85,7% hujan ringan dapat dipertahankan dan puncak aliran hujan deras bisa ditunda setengah jam meskipun aliran tidak dapat sepenuhnya dipertahankan. Hathaway dkk.[21] menyelidiki kinerja hidrologi dan kualitas air dari dua atap hijau di Neuse River Basin di Carolina Utara timur. Lebih dari 75% pengurangan aliran puncak rata-rata diamati dari setiap atap hijau dalam studi tersebut. Dalam menyajikan hasil pemantauan dari atap hidup skala lapangan di Selandia Baru, Voyde dkk.[22] melaporkan bahwa rata-rata 82% jumlah curah hujan dapat dipertahankan, dan sekitar 93% aliran puncak dapat dikurangi. Berdasarkan seperangkat data hujan-aliran (menutupi 29 bulan) yang luas dari uji coba atap hijau di Inggris Raya, Stovin dkk.[23] menyimpulkan bahwa atap tersebut dapat menyediakan retensi curah hujan tahunan kumulatif sebesar 50,2%. Semua studi ini telah menunjukkan bahwa atap hijau dapat secara signifikan berkontribusi terhadap penurunan risiko banjir akibat badai hujan.

*Green roof test bed* yang diuji di *Nanyang Technological University*, Singapura berikut merupakan **cara pembuatan Teknologi Green Roof (Atap Hijau) Test Bed:**

## 1. Desain Sistem *Green Roof Test Bed*

Sistem green roof test bed terdiri dari 3 unit, di mana 2 unit berupa atap vegetasi (Unit 1 dan 2) dan 1 unit sebagai atap tanpa vegetasi (Unit 3) sebagai kontrol. Masing-masing unit memiliki dimensi 2 m x 2 m dan terdiri dari 4 kotak tanaman 1 m x 1 m. Sudut kemiringan atap dapat diatur dari 0° hingga 15°, dan dalam penelitian ini ditetapkan pada 5°. Setiap unit memiliki 3 komponen utama: (1) bak terbuka di bagian atas, (2) bak filtrasi di bagian bawah, dan (3) rangka dasar. Kedalaman media tanam adalah 25 cm dengan tanaman rumput dan bunga (*Cuphea* dengan rumput). Terdapat pula lapisan penyaring dan batu kerikil setebal 5 cm di bagian bawah untuk drainase.

## 1. Desain Tangki Penampungan air

Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan desain tangki penampung air untuk mengukur aliran limpasan. Tangki penampung ini memiliki outlet berbentuk lubang lingkaran, dengan diameter yang dihitung berdasarkan persamaan orifice agar sesuai dengan debit puncak hujan di Singapura. Tiga lubang dengan diameter berbeda (4 mm, 6 mm, 9 mm) dibuat pada dinding tangki untuk mengakomodasi variasi debit, sementara koefisien hidrolis masing-masing lubang ditentukan melalui kalibrasi dengan data lapangan. Limpasan permukaan dan aliran air dasar dialirkan secara terpisah ke dua tangki penampung yang berbeda.

Singapura, sebagai kota-negara dengan laju urbanisasi tinggi, menghadapi tantangan terkait penurunan area hijau, peningkatan limpasan air hujan, dan urban *heat island effect*. *Green roof* dianggap sebagai salah satu solusi yang menjanjikan untuk mengatasi isu-isu tersebut. Namun, studi terkait *green roof* di Singapura masih terbatas, sehingga penelitian ini bertujuan untuk menguji manfaat *green roof* dalam manajemen air hujan dan mitigasi urban *heat island*.

## 2. Metode

### Metode Yang Digunakan Untuk Pengujian:

#### 1. Sistem Monitoring

Untuk memperoleh data yang dibutuhkan dalam mengevaluasi kinerja green roof, sistem ini dilengkapi dengan peralatan monitoring otomatis terintegrasi. Stasiun cuaca nirkabel digunakan untuk mengukur parameter meteorologi seperti kecepatan angin, radiasi, suhu, kelembaban, dan curah hujan.



Sistem pemantauan suhu dipasang untuk membandingkan suhu atap vegetasi dan atap tanpa vegetasi pada berbagai ketinggian. Sementara itu, sistem pemantauan tinggi muka air dimanfaatkan untuk mengukur volume dan laju aliran limpasan. Data dari seluruh peralatan ini dicatat dan disimpan secara *real-time* menggunakan data *logger*.

## 2. Pengumpulan dan Analisis Data

Pengujian sistem green roof test bed ini dimulai pada Juni 2012 dan direncanakan berlangsung selama 2 tahun. Kalibrasi dan penyesuaian sistem dilakukan secara berkala untuk memastikan akurasi data. Data cuaca, suhu, dan tinggi muka air yang dikumpulkan kemudian dianalisis untuk mengevaluasi kinerja green roof dalam manajemen air hujan dan mitigasi urban *heat island effect*.

## 3. Hasil dan Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan green roof sangat efektif dalam manajemen air hujan dan mitigasi urban *heat island effect*. Dari segi manajemen air hujan, green roof terbukti mampu:

1. Mengurangi puncak limpasan air hujan hingga 65% untuk curah hujan 18 mm. Pengurangan puncak limpasan ini dapat membantu mengurangi beban drainase dan mengurangi risiko banjir di lingkungan perkotaan.
2. Menunda waktu terjadinya puncak limpasan sekitar 3 menit. Penundaan puncak limpasan memberikan lebih banyak waktu bagi sistem drainase untuk menangani volume air hujan, sehingga dapat mengurangi risiko banjir.
3. Meningkatkan kapasitas retensi air hujan. *Green roof* umumnya dapat menahan sekitar 11,4% dari total curah hujan, mengurangi volume limpasan yang harus ditangani oleh sistem drainase.
4. Mendominasi aliran air dasar (*base flow*) melalui media tanam dibandingkan limpasan permukaan. Hal ini menunjukkan efektivitas media tanam dalam memperlambat aliran air, mengurangi beban puncak limpasan.

Selain manfaat hidrologi, *green roof* juga terbukti efektif dalam mitigasi urban *heat island effect* dengan menurunkan suhu permukaan atap hingga 7,3°C dan suhu udara sekitar hingga 0,5°C dibandingkan atap tanpa vegetasi. Penurunan suhu ini dapat mengurangi kebutuhan pendinginan bangunan dan memberikan kontribusi positif terhadap lingkungan perkotaan.

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan potensi *green roof* dalam mitigasi urban *heat island effect* dan manajemen air hujan di Singapura. *Green roof* dapat menurunkan suhu permukaan atap hingga 7,3°C dan suhu udara sekitar 0,5°C, serta mengurangi puncak limpasan hingga 65%. Hasil ini dapat membantu manajer kota dalam menerapkan *green roof* sebagai strategi adaptasi iklim.

Kelebihan dari penelitian ini:

1. Penelitian komprehensif mencakup aspek termal dan hidrologi *green roof*.
2. Menggunakan sistem monitoring otomatis yang akurat.
3. Memberikan wawasan berharga untuk Singapura yang menghadapi tantangan urban *heat island* dan manajemen air hujan.

Kekurangan dari penelitian ini:

1. Jangka waktu pengujian relatif pendek (6 bulan).
2. Beberapa kejadian hujan tidak dapat dipantau dengan baik akibat masalah sensor.
3. Belum ada analisis statistik yang komprehensif terkait hasil penelitian.



## Ucapan Terima Kasih

Kami ingin mengucapkan terima kasih kepada peneliti sebelumnya yang telah memberikan kontribusi berharga dalam bidang ini. Tanpa kerja keras mereka, penelitian ini tidak akan berhasil, Kami menghargai upaya peneliti sebelumnya dan rekan-rekan yang telah memberikan wawasan dan dukungan selama proses penelitian ini.

## References

- [1]. Xiaosheng Qin, Xiangyu Wu, Yee-Meng Chiew dan Yan Hong Li, "A Green Roof Test Bed for Stormwater Management and Reduction of Urban Heat Island Effect in Singapore" *British Journal of Environment & Climate Change*. Vol (2). 410-420. 2024
- [2] Allen MR, Ingram WJ. Constraints on future changes in climate and the hydrologic cycle. *Nature*. 2002;419:224–232. DOI:10.1038/nature01092
- [3] Onmura S, Matsumoto M, Hokoi S. Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and Building*. 2001;33(7):653-666. DOI:10.1016/S0378- 7788(00)0013 4-1
- [4] Wong NH, Chen Y, Ong CL, Sia A. Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building Environment*. 2003;38(2):261-270. DOI:10.1016/ S0360-1323(02)00066-5
- [5] Alexandri E, Jones P. Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*. 2008;43(4):480-493. DOI: 10.1016/j.buildenv.2006.10.055
- [6] Teemusk A, Mander Ü. Greenroof potential to reduce temperature fluctuations of a roof membrane: a case study from Estonia. *Building Environment*. 2009;44(3):643- 650. DOI: 10.1016/j.buildenv.2008.05.011
- [7] Metselaar K. Water retention and evapotranspiration of green roofs and possible natural vegetation types. *Resources, Conservation and Recycling*. 2012;64:49-55. DOI: 10.1016/j.resconrec.2011.12.009
- [8] Carter T, Jackson CR. Vegetated roofs for stormwater management at multiple spatial scales. *Landscape Urban Planning*. 2007;80(1-2):84-94. DOI:10.1016/j.landurbplan.20 06.06.005
- [9] Kasmin H, Stovin VR, Hathway EA. Towards a generic rainfall-runoff model for green roofs. *Water Science & Technology*. 2010;62(4):898-905. DOI:10.2166/wst.2010.352
- [10] Lee DO. Urban warming? - An analysis of recent trends in London's heat island. *Weather*. 1992;47(2):50-56. DOI:10.1002/j.1477-8696.1992.tb05773.x
- [11] Streutker DR. Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas. *Remote Sensing of Environment*. 2003;85(3):282–289. DOI:10.1016/S0034-4257(03)0 0007-5
- [12] Rosenzweig C, Solecki WD, Parshall L, Chopping M, Pope G, Goldberg R. Characterizing the urban heat island in current and future climates in New Jersey. *Environmental Hazards*. 2005;6(1):51-62. DOI:10.1016/j.hazards.2004.12.001
- [13] Xie HJ, Chang NB, Daranpob A, Prado D. Assessing the Long-term Urban Heat Island in San Antonio, Texas based on MODIS/Aqua Data. 20th Biennial Workshop on Aerial Photography, Videography, and High Resolution Digital Imagery for Resource Assessment, Oct. 4-6, 2005, Weslaco, Texas; 2005.
- [14] Weng Q, Lu D, Schubring J. Estimation of land surface temperature-vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote Sensing of Environment*. 2004;89(4):467–483. DOI:10.1016/j.rse.2003.11.005
- [15] Liu K, Minor J. Performance evaluation of an extensive green roof. Paper presented at the Third Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities Conference, Awards and Trade Show; 4–6 May 2005, Washington, DC; 2005.
- [16] Takebayashi H, Moriyama M. Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*. 2007;42:2971–2979.
- [17] Fang CF. Evaluating the thermal reduction effect of plant layers on rooftops. *Energy and Buildings*. 2008;40(6):1048–1052. DOI:10.1016/j.enbuild.2007.06.007



- [18] Mentens J, Raes D, Hermy M. Green roofs as a tool for solving the rainwater runoff problem in the urbanized 21st century. *Landscape and Urban Planning*. 2006;77(3):217-226. DOI:10.1016/j.landurbplan.2005.02.010
- [19] VanWoert ND, Rowe DB, Andresen JA, Rugh CL, Fernandez RT, Xiao L. Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of Environmental Quality*. 2005;34(3):1036-1044. DOI:10.2134/jeq2004.0364
- [20] Carter TL, Rasmussen TC. Hydrologic behavior of vegetated roofs. *Journal of the American Water Resources Association*. 2006;42(5):1261–1274. DOI:10.1111/j.1752- 1688.2006.tb05299.x
- [21] Teemusk A, Mander Ü. Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events. *Ecological Engineering*. 2007;30(3):271- 277. DOI:10.1016/j.ecoleng.2007.01.009
- [22] Hathaway AM, Hunt WF, Jennings GD. A field study of green roof hydrologic and water quality performance. *Transactions of the ASABE*. 2008;51(1):37-44.
- [23] Voyde E, Fassman E, Simcock R. Hydrology of an extensive living roof under sub- tropical climate conditions in Auckland, New Zealand. *Journal of Hydrology*. 2010;394(3-4):384–395. DOI:10.1016/j.jhydrol.2010.09.013
- [23] Stovin V, Vesuviano G, Kasmin H. The hydrological performance of a green roof test bed under UK climatic conditions. *Journal of Hydrology*. 2012;414-415:148-161. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2011.10.022